

HB 284

6016

PRIJS F 0.90

PUBLIKATIE SERIE A No. 17

**INSTITUUT VOOR BEWARING EN
VERWERKING VAN LANDBOUWPRODUCTEN
WAGENINGEN**

**DE INVLOED VAN DE VENTILATIECAPACITEIT
OP DE GEWICHTSVERLIEZEN BIJ LUCHTGEKOELDE
BEWARING VAN AARDAPPELEN**

(Uitgewerkte tekst van een voordracht, gehouden tijdens de International Conference
on Farm Buildings van 8-13 oktober 1956 te Lund, Zweden).

door

Ir. B. G. Ophuis

Afd. Bewaring en Verwerking van Aardappelen

Wageningen, augustus 1957

PUBLIKATIE SERIE A No 17
INSTITUUT VOOR BEWARING EN VERWERKING
VAN LANDBOUWPRODUKTEN
WAGENINGEN

De invloed van de ventilatiecapaciteit op de gewichtsverliezen
bij luchtgekoelde bewaring van aardappelen

(Uitgewerkte tekst van een voordracht, gehouden tijdens
de International Conference on Farm Buildings van 8-13
oktober 1956 te Lund, Zweden).

door

Ir. B.G. Ophuis

1. Inleiding.

Vanouds werden in Nederland de meeste aardappelen bewaard in kuilen. Onder onze klimatologische omstandigheden treden bij de kuilbewaring vaak aanzienlijke verliezen op. Om hierin verbetering te brengen werd in ons land na de tweede wereldoorlog het onderzoek op het gebied van de aardappelbewaring intensief ter hand genomen. Dit heeft er toe geleid, dat in 1950 de bewaring met buitenluchtkoeling bij de praktijk werd geïntroduceerd. Het aantal geventileerde bewaarplaatsen, dat sedertdien is gebouwd, bedraagt \pm 1400 stuks. Hun totale opslagcapaciteit is ca 400.000 ton.

Tot de bouw van dit grote aantal bewaarplaatsen heeft in de eerste plaats de verbetering in de bewaring van het produkt bijgedragen. Van evenveel betekenis is de besparing aan arbeid en de verbetering van de arbeidsmethoden. Door bewaring met buitenluchtkoeling blijven de knollen ongekiemd en zijn bij het uithalen droog en schoon. Het sorteren kost daardoor minder arbeid dan bij een produkt uit de kuil. Dank zij de bewaring onder dak is het sorteren en afleveren van aardappelen niet meer van de weersgesteldheid afhankelijk. Ook zijn de diverse werkzaamheden minder onaangenaam geworden en is mechanisatie ervan eerder uitvoerbaar dan bij kuilbewaring in de open lucht. Dat, ondanks de hogere begininvestering, opslag in geventileerde gebouwen voordeliger is dan kuilbewaring, is voor de praktijk van doorslaggevende betekenis.

Het systeem berust op het principe, dat in koude perioden door middel van een ventilator buitenlucht in de bewaarplaats wordt geblazen om de aardappelen af te koelen. Bij warm weer en bij vorst moet de bewaarplaats worden afgesloten om de gewenste bewaartemperatuur zo lang mogelijk te handhaven. Tevens moeten hiertoe de wanden van de bewaarplaats geïsoleerd zijn. Behalve voor koeling dient de ventilator ook om natgerooide aardappelen snel droog te blazen.

Beheersing van temperatuur en vochtigheid is de belangrijkste voorwaarde voor het vermijden van verliezen tijdens de bewaring. Of hieraan door bewaring met buitenluchtkoeling wordt voldaan, hangt in eerste instantie van het klimaat af, doch wordt mede bepaald door de wijze waarop het ventilatiesysteem wordt bediend, de isolatie van het gebouw en de keuze van de ventilatorcapaciteit. In dit artikel zal speciaal dit laatste punt aan een beschouwing worden onderworpen en zullen enige resultaten van proeven worden medegedeeld.

2. Oorzaken van de gewichtsverliezen en de maatregelen ter voorkoming ervan.

Gewichtsverliezen bij de bewaring van aardappelen worden veroorzaakt door de volgende processen:

- a. ademhaling,
- b. spruiting,
- c. aantasting door microörganismen,
- d. verdamping.

Ademhaling en spruiting zijn processen, die voortvloeien uit het feit, dat de aardappelknol een levend produkt is.

De energie, nodig voor het onderhouden van de levensprocessen, wordt door de ademhaling geleverd. Hierbij worden koolhydraten onder opname van zuurstof uit de lucht omgezet tot koolzuurgas en water. Het koolzuurgas wordt aan de lucht afgestaan. Dit proces gaat dus onvermijdelijk met verliezen tijdens de bewaring gepaard. De intensiteit van de ademhaling is afhankelijk van de temperatuur en kan door bepaling van de CO_2 -afgifte worden gemeten. Afgaande op literatuurgegevens kan worden berekend, dat over de gehele bewaarperiode het verlies aan koolhydraten zelden meer dan 1 % van het oorspronkelijke verse gewicht van de aardappelen zal bedragen.

Spruiting veroorzaakt altijd in meer of mindere mate verlies aan gewicht. In ernstige gevallen wordt ook de kwaliteit benadeeld. Zelfs een algeheel verlies kan het gevolg zijn. Voorkoming van kieming is dan ook een eerste eis bij massa-opslag van aardappelen. De neiging tot kieming kan door een lage bewaartemperatuur worden onderdrukt. Het is echter niet nodig de aardappelen onmiddellijk na de oogst bij zeer lage temperatuur op te slaan. Immers, de knollen maken eerst een rustperiode door, waarin ook bij hogere temperaturen geen kieming optreedt. De duur van deze rustperiode, gerekend bij een temperatuur van $\pm 20^\circ\text{C}$, varieert van enkele weken tot enkele maanden, afhankelijk van het ras. Naarmate de temperatuur lager is dan 20°C verschuift ook het tijdstip van optreden van kieming. Bij $\pm 4^\circ\text{C}$ ligt de grens, waarbij in een bewaarperiode van normale duur (6-8 maanden) geen kieming meer voorkomt. Voor erg kiemlustige rassen ligt deze grens iets lager dan 4°C . Ook bij zeer langdurige opslag, tot laat in het bewaar seizoen, moet in de laatste maanden lager dan 4°C worden gekoeld. Uit proeven van ons instituut is gebleken, dat, voorafgaande aan de opslag bij 4°C , zelfs de meest spruitlustige rassen gedurende 3 maanden na de oogst in rust blijven,

wanneer in deze 3 maanden achtereenvolgens bij respectievelijk 13°C, 10°C en 7°C wordt bewaard. Ongetwijfeld kan, bij een programma van nog lagere temperaturen dan deze, opslag bij 4°C nog langer worden uitgesteld.

Na de eerste maanden is voor pootaardappelen de beste bewaartemperatuur 2-4°C. Langdurige bewaring van pootgoed beneden 2°C verdient minder aanbeveling. Aangezien beneden 4 à 5°C verzoeting kan optreden - bij sommige rassen reeds beneden 6°C -, zou men voor consumptie-aardappelen lagere temperaturen eigenlijk moeten vermijden. Wegens gevaar voor kieming is dit tijdens een bewaarperiode van enige duur niet mogelijk. Een eventuele zoete smaak, die door bewaring bij lage temperatuur is ontstaan, verdwijnt echter doorgaans weer geheel, wanneer 1 à 2 weken vóór aflevering bij hogere temperatuur (10-15°C) wordt nabewaard.

Naast spruiting vormen knolziekten de belangrijkste oorzaak van gewichtsverliezen. Rotten knollen betekenen altijd een totaal verlies. Onder bepaalde omstandigheden kan de infectie zich tijdens de bewaring sterk uitbreiden. Dikwijls ligt de oorsprong ervan bij knollen, die reeds op het veld zijn aangetast. Als natgerooide partijen niet onmiddellijk na opslag worden gedroogd, kunnen de verliezen, vooral wanneer de knollen bij de oogst beschadigd werden en met sporen zijn besmet, hoog oplopen. Lage temperatuur en opslag onder droge omstandigheden (d.w.z. dat in geen geval vocht op de knollen mag voorkomen) gaat de ontwikkeling van microorganismen tegen.

Door verdamping verdwijnt water uit de knollen. Ofschoon geen vaste bestanddelen verloren gaan, zoals bij ademhaling en ook bij spruiting en rotting het geval is, moet in de handel toch ernstig met gewichtsvermindering door verdamping rekening worden gehouden. Het verlies door verdamping is een veelvoud van het ademhalingsverlies. Beide zijn onzichtbaar, doch als gezamenlijk percentage door weging vast te stellen. Zodra het gewichtsverlies door verdamping 10 % of meer bedraagt, voelen de knollen slap aan en worden daardoor lager in kwaliteit gewaardeerd.

De verdamping van water uit de knollen is een fysisch proces, dat in de eerste plaats afhankelijk is van de condities van de omringende lucht. In verzadigde lucht, die dezelfde temperatuur heeft als de aardappelen, treedt geen verdamping op. Bewaring onder zulke omstandigheden levert echter gevaar op voor condensatie en is voor de gehele duur van de bewaring ook technisch niet uitvoerbaar.

Bij beschouwingen over verdamping kan niet eenvoudig de relatieve vochtigheid van de omringende lucht als uitgangspunt dienen, maar moet principieel met het dampdrukverschil tussen aardappelen en lucht worden

gerekend. Dit inzicht is van groot belang als men het produkt gaat ventileren. Een voorbeeld moge dit verduidelijken: Om tijdens de bewaring de gewenste lage temperatuur te bereiken of te behouden, moeten de aardappelen van tijd tot tijd met koudere lucht in aanraking worden gebracht. Zelfs indien met verzadigde koude lucht wordt geventileerd, treedt nog verdamping op. De warmere aardappelen hebben namelijk een dampspanning, welke met de verzadigde waterdampspanning behorende bij die temperatuur, overeenkomt. De dampspanning van de koudere lucht daarentegen is lager. Door contact met de aardappelen wordt deze lucht opgewarmd, waardoor ze niet meer voor 100 % is verzadigd. De aardappelen zullen dan waterdamp aan de lucht met lagere dampspanning afstaan.

Uit deze redeneringen volgt, dat voor het tegengaan van uitdroging bij ventileren met koude lucht het temperatuurverschil tussen aardappelen en doorgeblazen lucht gering en de relatieve vochtigheid van deze lucht hoog moet zijn.

Dat de relatieve vochtigheid alleen geen juiste basis is, blijkt nog duidelijker uit het voorbeeld, dat bij ventileren van koude aardappelen met warme onverzadigde lucht condensatie in plaats van verdamping kan optreden.

Naast de conditie van de omringende lucht heeft ook de doorlaatbaarheid van de schil invloed op de mate van verdamping. Groengerooide knollen hebben een schil, die aanvankelijk nog zeer doorlaatbaar is voor waterdamp. Dit geldt ook voor ernstig ontvelde knollen. De doorlaatbaarheid van de schil hangt samen met de mate van verkurking. Zodra de groei van de plant is opgehouden, dus na het afsterven van het loof of na verwijdering van het loof van de knollen (groen rooien, doodspuiten van het loof) zet het verkurkingsproces in. Bij een temperatuur van 15°C geschiedt de verkurking snel. Reeds na enige dagen is de doorlaatbaarheid zeer sterk afgenomen. Na 14 dagen is deze al praktisch tot het minimum gedaald. Lage temperaturen vertragen het verkurkingsproces. Bij 2°C blijft verkurking en wondheling zelfs geheel achterwege. Voor groengerooide of ontvelde knollen moet aan de bewaring bij lage temperatuur dan ook steeds een periode van 14 dagen van opslag bij $\pm 15^{\circ}\text{C}$ voorafgaan (curing). In deze periode moet ventileren met koudere of droge lucht worden vermeden.

Bij kieming neemt de verdamping sterk toe. Niet alleen doordat de doorlaatbaarheid van de kiem veel groter is dan van de schil, maar ook doordat het verdampende oppervlak aanzienlijk kan zijn toegenomen.

3. De keuze van de ventilatiecapaciteit.

Koeling met buitenlucht is uiteraard alleen mogelijk in klimaten, waar de buitentemperatuur vaak genoeg beneden de voor het produkt noodzakelijke bewaartemperatuur daalt. De keuze van de ventilatiecapaciteit voor aardappelbewaarplaatsen, - d.w.z. de hoeveelheid lucht, waarmee een bepaalde hoeveelheid aardappelen per tijdseenheid wordt geventileerd -, wordt bepaald door een aantal factoren, die uiteindelijk kunnen worden teruggebracht tot twee groepen: enerzijds de eisen en eigenschappen van het produkt, anderzijds de klimatologische omstandigheden. De volgende aspecten verdienen in het bijzonder de aandacht:

a) De vereiste bewaartemperatuur.

Binnen welke grenzen deze op verschillende tijdstippen van de bewaarperiode moet worden gehandhaafd, werd in paragraaf 2 besproken;

b) De ademhalingswarmte en de isolatie van het gebouw.

Bij het ademhalingsproces komt een zekere hoeveelheid warmte vrij. Men kan berekenen (1) uit de ademhalingsintensiteit bij lage bewaartemperaturen, dat deze warmte voldoende is om in één etmaal het produkt $1/4^{\circ}\text{C}$ op te warmen. Indien de ademhalingswarmte niet door ventilatie of op andere wijze wordt afgevoerd, is inderdaad een temperatuurstijging van $1/4^{\circ}\text{C}$ per dag te constateren. In 4 dagen kan de temperatuur dus 1°C oplopen. Er van uitgaande, dat 4°C de maximum- en 2°C de minimum-bewaartemperatuur is, betekent dit, dat 8 dagen de langste termijn is waarin aardappelen het zonder koeling kunnen stellen. Dringt er bovendien nog warmte binnen van buitenaf (door "trek" of door geleiding door de wanden), dan is reeds eerder koeling nodig. Waar het klimaat weinig gelegenheid biedt tot ventilatie, moet dit binnendringen van warmte dan ook zoveel mogelijk worden tegengegaan. In de eerste plaats moet dus de bewaarruimte goed worden afgesloten, zodat geen warme buitenlucht door natuurlijke trek kan binnendringen. In de tweede plaats moeten de wanden isolerend zijn, zodat het aandeel van de warmtegeleiding in de opwarming van het produkt tot een aanvaardbaar bedrag wordt teruggebracht. Hoe zwaar de isolatie moet zijn, hangt af van de temperatuur en de duur van de perioden zonder koeling. Voor Nederlandse klimatologische omstandigheden geldt als minimum-isolatiewaarde: $0,5 - 0,6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$. Een dergelijke isolatiesterkte biedt ook in vorstperioden, zoals in ons land voorkomen, voldoende waarborg tegen bevroering (1).

Indien niet dikwijls kan worden geventileerd is het verstandig om in een gunstige periode de aardappelen tot $+1^{\circ}\text{C}$ of zelfs tot $+0,5^{\circ}\text{C}$ af te koelen. Men vormt dan een grotere "koudereserve", zodat

langer op een nieuwe kans om te ventileren kan worden gewacht. Temperaturen beneden 2°C schaden de aardappelen niet, mits ze niet constant gedurende weken of maanden achtereen worden aangehouden. Bij consumptie-aardappelen zal dan echter wel terdege aandacht aan de nabewaring bij hogere temperatuur moeten worden besteed, omdat de neiging tot zoet worden bij deze lage temperaturen groot is.

Concluderende kunnen we zeggen, dat men bij een bewaartemperatuur van 4°C , - wat het maximum is voor bewaring in winter en voorjaar - in geen geval warme perioden langer dan ± 10 dagen zonder koeling kan overbruggen. Wanneer de buitentemperatuur in die tijd niet vaker dan eens in de 10 dagen beneden 4°C daalt, is het klimaat voor koeling met buitenlucht ongeschikt. Tijdens vorstperioden is de maximum-overbruggingstermijn langer, omdat via de wanden van de bewaarplaats een deel van de ademhalingswarmte naar buiten afvloeit. Men kan hier rekenen met ± 14 dagen.

Daar de aardappelen zuurstof verbruiken is steeds een geringe luchtverversing noodzakelijk, ook wanneer niet kan worden geventileerd. In het algemeen behoeft men hiervoor geen speciale maatregelen te treffen. In de praktijk is een bewaarplaats nooit helemaal hermetisch af te sluiten. Bovendien is het openen en sluiten van de deuren bij het betreden van de bewaarplaats voor de regelmatige controle vaak al voldoende voor de noodzakelijke gasuitwisseling. Deze geringe luchtverversing is noch bij vorst, noch in warme perioden van veel invloed op de temperatuur in de bewaarplaats.

c) De temperatuur van de buitenlucht.

Wanneer de buitenlucht rechtstreeks met de aardappelen in contact wordt gebracht, komen temperaturen beneden 0°C niet in aanmerking. Ventileren bij vorst is echter mogelijk door de buitenlucht eerst met lucht uit de bewaarplaats te mengen tot net boven het vriespunt. Tenzij dit slechts incidenteel behoeft te gebeuren, is hiervoor een inrichting noodzakelijk, die automatisch functionneert door middel van thermostaten en servo-motoren. Een en ander is vrij gecompliceerd en kostbaar. Een tweede mogelijkheid om bij vorst te ventileren bestaat hierin, dat de lucht niet door het produkt wordt geblazen, maar door middel van dubbele wanden en schotten om de aardappelhoop wordt geleid (shell cooling). Op deze wijze wordt het produkt dus indirekt gekoeld. Ook dit systeem is kostbaarder dan het doorblazen van de hoop.

Onder 3b hebben we gezien, dat zelfs bij vorst niet langer dan een periode van ± 14 dagen zonder koeling kan worden overbrugd.

Ventilatie tijdens vorstperioden is derhalve nodig in klimaten, waar de buitentemperatuur enige weken of maanden onafgebroken beneden 0°C blijft. Het systeem van shell-cooling of luchtmenging wordt o.a. dan ook toegepast in de noordelijke staten van de V.S. en in Canada. Bij de shell-cooling is de overdracht van warmte uit de aardappelhoop veel minder effectief dan bij rechtstreeks contact van de doorgeblazen lucht met de aardappelen. Buiten de gebieden met langdurige strenge winters is dit systeem dan ook niet geschikt.

In het meer gematigde klimaat van West en Midden Europa en ook in Zuid Scandinavië vriest het nooit de gehele winter onafgebroken. Vorstperioden wisselen af met dagen van dooiweer. Het gebeurt zelden, dat er tijdens een langdurige vorstperiode niet eens in de 2 à 3 weken een zonnige dag voorkomt, waarop het kwik voor enkele uren tot boven 0°C stijgt. In genoemde klimaatzone is ventilatie met vrieslucht dus in het algemeen niet nodig. Indien het toch een enkele keer gewenst mocht zijn, kan op eenvoudige wijze luchtmenging worden toegepast met behulp van de aanwezige voorziening voor interne circulatie. Door intern te ventileren en de in- en uitlaatopeningen voor de lucht naar behoefte open te zetten, kan namelijk de gewenste graad van luchtmenging worden verkregen. De temperatuur van de menglucht moet daarbij voortdurend worden gecontroleerd.

De mate van afkoeling bij het ventileren is afhankelijk van het temperatuurverschillen tussen aardappelen en buitenlucht, van de duur van de ventilatie en van de ventilatiecapaciteit. Ook spelen hierbij een aantal stof-eigenschappen een rol, zoals soortelijke warmte van lucht en aardappelen, de warmte overgangscoefficiënt van lucht op aardappelen en het per m^3 aardappelen aan de warmte-overdracht deelnemende oppervlak. Laten we deze grootheden buiten beschouwing, dan is de mate van afkoeling recht evenredig met het temperatuurverschil, de duur van de ventilatie en de per tijdseenheid doorgeblazen luchthoeveelheid. Bij eenzelfde temperatuurverschil geeft verdubbeling van de ventilatiecapaciteit dus een halvering van de afkoelingstijd. Met welk temperatuurverschil kan worden geventileerd en met welke duur frequentie en regelmaat de voor ventileren geschikte perioden voorkomen, wordt bepaald door klimatologische omstandigheden.

Indien de buitenlucht rechtstreeks door het produkt wordt geblazen, zijn de bruikbare buitentemperaturen, uitgezonderd in de eerste maanden na de oogst, beperkt tot het traject van $0^{\circ} - 4^{\circ}\text{C}$. Het temperatuurverschil is dus in het algemeen niet groot. Men kan nu opmerken, dat men ook in de gematigde klimaten bij temperaturen beneden 0°C zou moeten kunnen ventileren. Bij nachtvorst zou men dan van een groter temperatuurverschil en een langere tijdsduur kunnen profiteren, zodat

de ventilatiecapaciteit niet zo groot zou behoeven te zijn. Men moet echter bedenken, dat de keuze van de luchthoeveelheid niet moet worden gebaseerd op de maanden waarin veelvuldig lage temperaturen en nachtvorst voorkomen, maar op de maanden met slechts enkele koude nachten, waarbij de temperatuur nog maar zelden tot 0°C daalt. In die maanden moet tijdens elke gunstige gelegenheid een zo groot mogelijk afkoelings-effekt worden nagestreefd. Dit kan in de enkele koude uren 's nachts of 's ochtends alleen met een zeer grote ventilatiecapaciteit worden bereikt. Wordt de ventilatiecapaciteit hierop gebaseerd, dan is ze ook ruimschoots voldoende om in perioden met nachtvorst, -uitsluitend door gebruik te maken van de temperaturen boven 0°C -, de benodigde koeling te verzekeren.

d) De storthoogte.

Bij het type bewaarplaats, dat in ons land voor gestorte bewaring wordt gebouwd (2, 3), is het luchtverdeelsysteem in de vloer aangebracht. De lucht wordt bij het ventileren van onder naar boven door de hoop geblazen. Een storthoogte van 3 m is, vanwege het gevaar voor het optreden van drukplekken, ongeveer het maximum. Ook in verband met een snelle afkoeling van de gehele aardappelhoop is de storthoogte aan beperkingen gebonden. Doordat namelijk de koude lucht onder wordt ingeblazen, koelen hier de aardappelen ook het eerst af. De temperatuu-
daling plant zich geleidelijk naar boven toe voort. Voor de bovenste lagen duurt het dus langer vóór ze op temperatuur zijn dan voor de onderste. De ventilatiecapaciteit moet dan ook zodanig worden gekozen, dat ook bij de korte ventilatieperioden in de ongunstigste maanden de afkoeling zo ver mogelijk tot bovenin plaats vindt.

Juiste cijfers over het verloop van de afkoeling in de hoop waren tot nog toe niet beschikbaar. Door Businger (4) is enige jaren geleden een algemene theorie opgesteld over het verloop van de temperatuur in losgestorte produkten bij opwarming en afkoeling met lucht. Bij proeven, die op ons instituut kortgeleden zijn uitgevoerd, werd deze theoretische voorstelling bevestigd gevonden en konden uit metingen de benodigde getallenwaarden worden verkregen voor het uitvoeren van berekeningen (5). In paragraaf 4 komen we hierop nader terug.

e) De uitdroging.

Aanvankelijk bestond de vrees, dat met vergroting van de ventilatiecapaciteit ook het verlies van water uit de knollen zou toenemen. Bij natgerooide aardappelen kan worden geconstateerd, dat de opdroging sneller verloopt naarmate met een sterkere ventilator wordt geventileerd. Dit betreft echter het aanhangende vocht. Met het vocht in de knollen ligt dit anders. Uit in achtereenvolgende jaren genomen proeven is ons

gebleken, dat vergroting van de ventilatiecapaciteit tot het 2- of 3-voudige van de normaal gebruikelijke, geen toename van de verdamping gaf te zien. In paragraaf 5 zullen in het kort resultaten van een speciale proef over dit onderwerp worden vermeld.

Uit bovenstaande uiteenzetting volgt, dat het moeilijk is de juiste ventilatiecapaciteit alleen door berekening te bepalen. Men zou o.a. nauwkeurig de duur, de frequentie en de regelmaat van de voor ventilatie gunstige temperaturen moeten kennen. Zulke gegevens zijn niet zonder meer beschikbaar. In Nederland hebben wij daarom langs experimentele weg nagegaan met welke ventilatiecapaciteit goede resultaten werden verkregen. Vanzelfsprekend werd bij de proeven aan het eind van de bewaring het produkt beoordeeld. Tevens werden nauwkeurig de bewaartemperaturen geregistreerd. Op grond van deze proeven werd in de eerste jaren een ventilatiecapaciteit geadviseerd van 70 m³ lucht per uur per m³ aardappelen. (Dit komt overeen met 11 m³ per 100 kg per uur). Uit de temperatuurwaarnemingen kon een verrassend feit worden geconstateerd. Het verloop van de gemiddelde bewaartemperatuur die met genoemde ventilatiecapaciteit werd bereikt, bleek namelijk onder onze klimatologische omstandigheden, behalve in de vorstperioden, nagenoeg samen te vallen met de gemiddelde minimum-buitentemperatuur per decade (1). Deze samenhang werd telkens weer gevonden, zodat hieruit met behulp van meteorologische gegevens kan worden afgeleid welke bewaartemperaturen in de verschillende maanden in ons klimaat mogelijk zijn. Tabel 1 geeft hiervan in de tweede rij een overzicht. De temperaturen zijn hier niet per decade maar per maand opgegeven.

Tabel 1.

Temperatuurgemiddelden in °C in Nederland, berekend over een periode van 30 jaar.

	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	jan.	febr.	mrt.	apr.	mei	juni
Gem.temp.	18,2	17,7	15,0	10,4	5,8	3,2	2,6	3,0	5,6	8,9	13,8	16,4
Gem. min. temp.	12,7	12,4	10,1	6,6	3,1	0,8	0,0	0,0	1,7	4,0	7,8	10,5
Gem. max. temp.	21,4	21,1	18,6	13,5	8,4	5,3	4,8	5,6	8,8	12,2	17,3	19,8

Afgaande op de cijfers van de gemiddelde minimum-temperaturen kan men in ons land in juli en augustus tot op ongeveer 13°C koelen, in september op 10°C, in oktober op gemiddeld 7°C en vanaf november tot en met april op 4°C of lager. Met deze bewaartemperaturen is dus ongekiemd bewaren tot en met april mogelijk (zie blz. 3).

De in tabel 1 vermelde cijfers zijn gemiddelden over een groot aantal jaren. Van jaar tot jaar en van plaats tot plaats zullen de temperaturen natuurlijk van dit gemiddelde afwijken. In een klimatogram, dat voor 6 plaatsen in Nederland voor de jaren 1920 tot 1950 werd samengesteld (1), kan men voor elk jaar aflezen, in welke decade van het seizoen een bewaartemperatuur beneden 4°C mogelijk zou zijn geweest.

Sedert de Jong in 1947 (6) met het onderzoek startte, zijn de proeven met buitenluchtkoeling elk jaar voortgezet. Zowel deze proeven als ook de praktijkervaringen bewijzen, dat bij een goede bediening van het systeem inderdaad de aardappel in de meeste jaren tot in april zonder noemenswaardige kieming kan worden bewaard. Met de ventilatiecapaciteiten groter dan $70 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ kon echter de bewaartemperatuur, gemiddeld over het gehele seizoen gerekend slechts weinig worden verlaagd. Juist in de voor ventilatie ongunstige perioden was er echter een duidelijk verschil waarneembaar. De verschillen in kieming die in tabel 2 tot uiting komen, moeten dan ook worden verklaard door het feit, dat vooral in kritieke perioden bij de grotere ventilatiecapaciteit een lagere temperatuur kan worden bereikt.

Tabel 2.

Invloed van de ventilatiecapaciteit op kieming en totaal gewichtsverlies.

Seizoen	Ras	Ventilatiecapaciteit					
		$\pm 70 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$		$\pm 140 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$		$\pm 210 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$	
		tot.verl. kieming %	tot.verl. kieming %	tot.verl. kieming %	tot.verl. kieming %	tot.verl. kieming %	tot.verl. kieming %
53/54	Eerste- ling	3,20	0,54	2,82	0,41	-	-
54/55	Bintje	4,01	0,16	3,95	0,04	-	-
55/56	Bintje	5,59	0,48	5,51	0,15	-	-
56/57	Bintje	1,72	0,37	1,64	0,10	1,62	0,03

De cijfers in de tabel voor de totale verliezen lopen voor de verschillende seizoenen nogal uiteen. Dit is toe te schrijven aan het feit, dat de bewaarduur telkens verschillend is geweest en ook aan het feit dat in het ene jaar de proef onmiddellijk na de oogst werd ingezet en in een ander jaar pas enige weken hierna. In het eerste geval zijn de cijfers hoger, omdat juist kort na de oogst de gewichtsverliezen zeer groot zijn.

Voorts werd waargenomen, dat bij een grotere ventilatiecapaciteit het totaal aantal draaiuren van de ventilator verminderde. Door verdubbeling van de ventilatiecapaciteit werd echter de totale draaitijd niet

tot op de helft bekort. Een verschil in draaitijd ontstond namelijk alleen in de perioden waarbij er volop gelegenheid was tot ventilatie. In fig. 1 is in een frequentiediagram aangegeven hoe in het seizoen 53/54 bij een ventilatiecapaciteit van $70 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ de draaitijden over de uren van de dag verdeeld waren. We zien dat overwegend 's nachts en in de vroege ochtend is geventileerd. In september werd zelfs uitsluitend 's nachts geventileerd, in januari waren er ook overdag gunstige temperaturen.

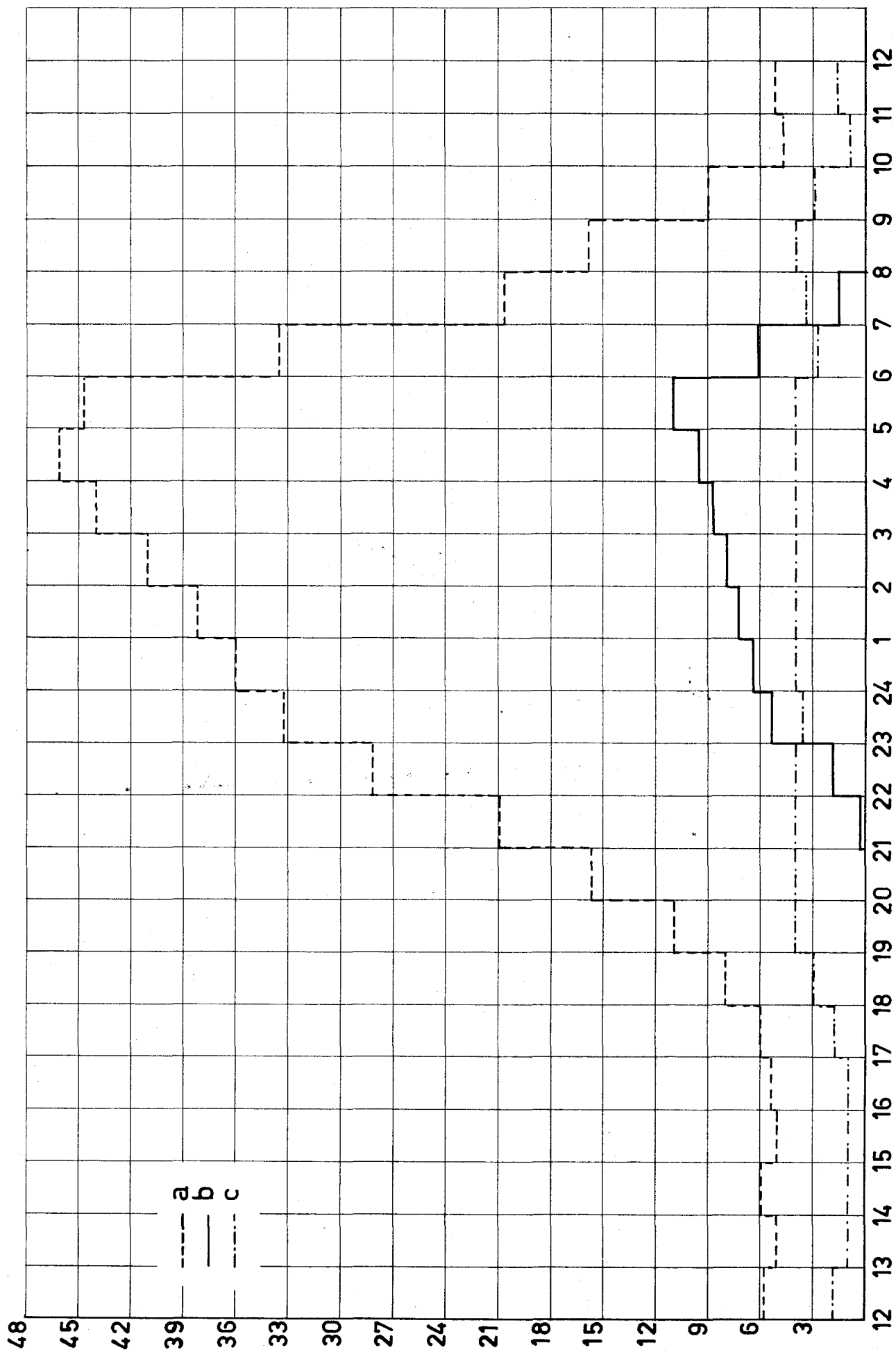
Vanaf 1954 is de door ons instituut aanbevolen ventilatiecapaciteit van 70 m^3 tot 100 m^3 per m^3 aardappelen per uur verhoogd. Bij 3,5 m storthoogte komt dit overeen met 350 m^3 lucht per m^2 vloeroppervlak per uur. Uit metingen door ons bij schone aardappelen uitgevoerd blijkt (zie fig. 2), dat bij deze lichtsnelheid de weerstand van een 1 m dikke laag aardappelen 1,6 mm W.K. bedraagt. Daar tevens werd vastgesteld, dat de luchtweerstand recht evenredig met de storthoogte toeneemt, is het drukverlies bij een aardappelhoop van 3,5 m dus slechts 5,6 mm W.K. Voor vuile aardappelen werden bij praktijkmetingen echter hogere tegendrukken gevonden. Ook in de kanalen van het ventilatiesysteem ondervindt de lucht weerstand. Als algemene regel wordt dan ook aangehouden, dat bij een ventilatiecapaciteit van $100 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ de ventilator een tegendruk moet kunnen overwinnen van 15 mm W.K.

4. Het temperatuurverloop in de aardappelhoop.

Zoals reeds in β_d werd aangegeven is de afkoeling bij het ventileren een functie zowel van de tijd als van de hoogte in de hoop. Voorts is het temperatuurverloop afhankelijk van de ventilatiecapaciteit. Voor de keuze hiervan alsook voor de bediening van de ventilatie is een juist inzicht in het afkoelingsproces van veel belang.

Door Businger (4) is voor het opwarmen of afkoelen van gestorte produkten door ventilatie met lucht langs theoretische weg een berekeningswijze opgesteld. Hierbij wordt er van uitgegaan, dat de hoop in de begintoestand in alle lagen dezelfde temperatuur bezit en dat gedurende het gehele opwarmings- of afkoelingsproces met lucht van een constante temperatuur wordt geventileerd. Ook wordt aangenomen, dat het produkt geen vocht aan de doorstromende lucht afstaat. Bij de oplossing van de differentiaalvergelijkingen, die de warmte-uitwisseling tussen lucht en produkt uitdrukken, voerde Businger dimensieloze variabelen in voor de temperatuur, de hoogte in de hoop en voor de tijd. Voor de temperatuur van het produkt bij afkoeling kan men schrijven:

$$\gamma = \frac{T_1 - T_2(0)}{T_1(0) - T_2(0)}$$



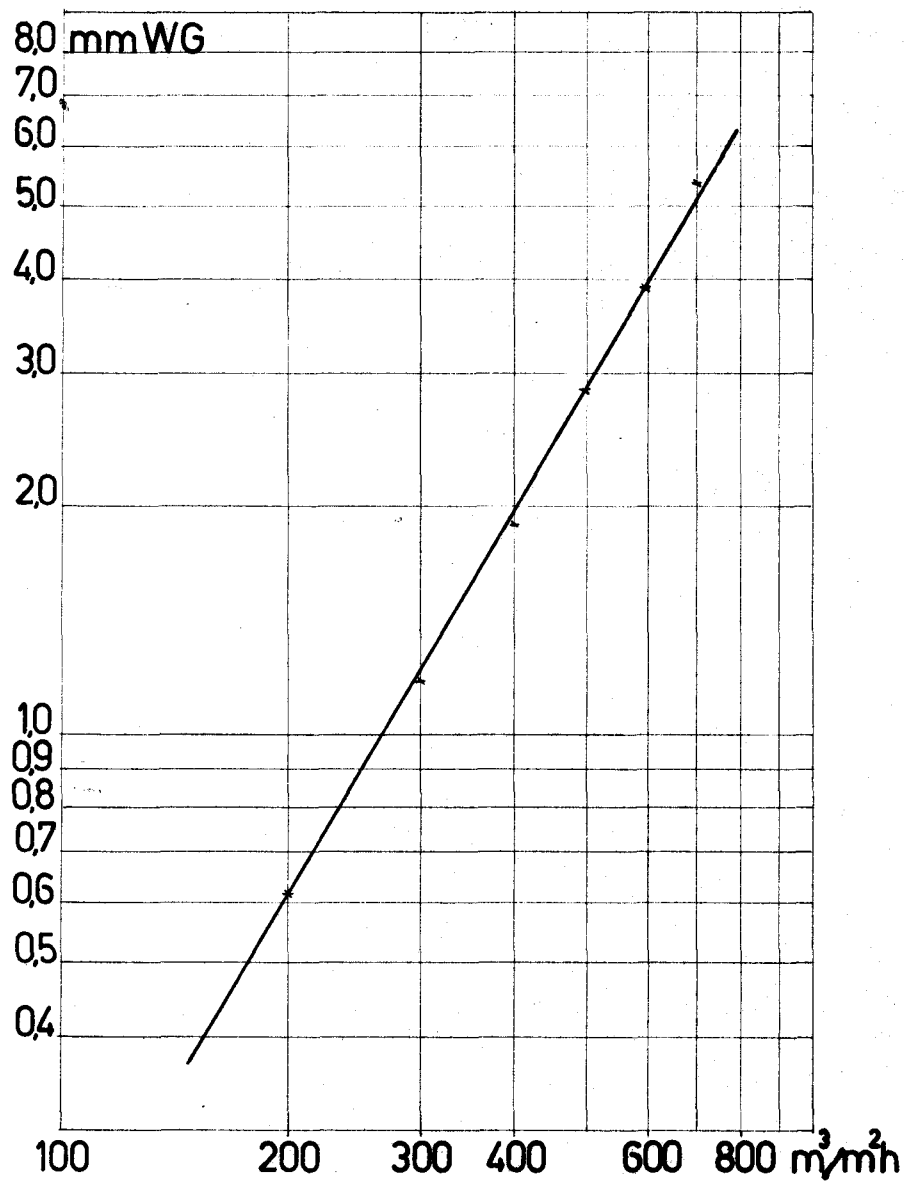


Fig. 2 Tegendruk van een 1 m dikke laag aardappelen

Hierin is T_1 de temperatuur van het produkt tijdens de ventilatie, $T_1(0)$ de begintemperatuur van het produkt en $T_2(0)$ de temperatuur van de inblaaslucht ($^{\circ}\text{C}$). De hoogte x werd door Businger vervangen door $\xi = \frac{\alpha O}{C_1 V}$ en de tijd t door $\tau = \frac{\alpha O t}{C_2}$.

- α = warmteovergangscoefficiënt ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$)
- O = oppervlak van de aardappelen (m^2/m^3)
- t = tijd (uur)
- x = hoogte in de hoop (m)
- C_1 = warmtecapaciteit van de lucht ($\text{kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- C_2 = warmtecapaciteit van het produkt ($\text{kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- v = ventilatiecapaciteit ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

Het verband tussen α , ξ en τ is door Businger grafisch uitgewerkt.

Indien men alle grootheden kent, kan men de grafiek van Businger gebruiken voor berekeningen van de opwarming of afkoeling van een aardappelhoop. C_1 , C_2 en v zijn gemakkelijk te bepalen of men kan er een redelijke schatting van maken. Neemt men aan, dat de aardappelen bollen zijn met een diameter van 40 mm en dat alle bollen in dichte pakking liggen, dan kan men berekenen, dat het oppervlak O ongeveer 120 m^2 per m^3 bedraagt. De α hebben wij geschat uit de formule van Jürges:

$\alpha = 5 + 3,4 w$, waarin voor w de luchtsnelheid in m/sec . tussen de knollen moet worden genomen. Bij een poriënvolume van 33 % is $w = \frac{3 \times v}{3600}$. Door het temperatuurverloop te meten bij opwarming van een hoop aardappelen bij verschillende ventilatiecapaciteiten konden door ons de schattingen van α en O worden gecontroleerd. De metingen werden uitgevoerd aan schone aardappelen met een gemiddelde diameter van 40 mm. Invulling van bovengenoemde geschatte waarden voor α en O gaf bijna een volmaakte overeenstemming tussen het berekende en het gemeten verloop (5). Op basis hiervan hebben wij met behulp van de vergelijkingen van Businger in fig. 3 voor de in ons land veel gebruikte ventilatiecapaciteit van $350\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ het temperatuurverloop bij afkoeling grafisch weergegeven. Bij de berekening zijn voor de verschillende grootheden de volgende waarden ingevuld:

- $\alpha = 5 + \frac{3,4 \times 3 \times v}{3600} = 6\text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
- $O = 120\text{ m}^2/\text{m}^3$ (geldt voor ronde aardappelen met gem. diameter van 40 mm in dichte pakking)
- $C_1 = 0,3\text{ kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $C_2 = 575\text{ kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bij een volumegegewicht van de aardappelen van $700\text{ kg}/\text{m}^3$ en een soortgelijke warmte van $0,82\text{ kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)
- $v = 350\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

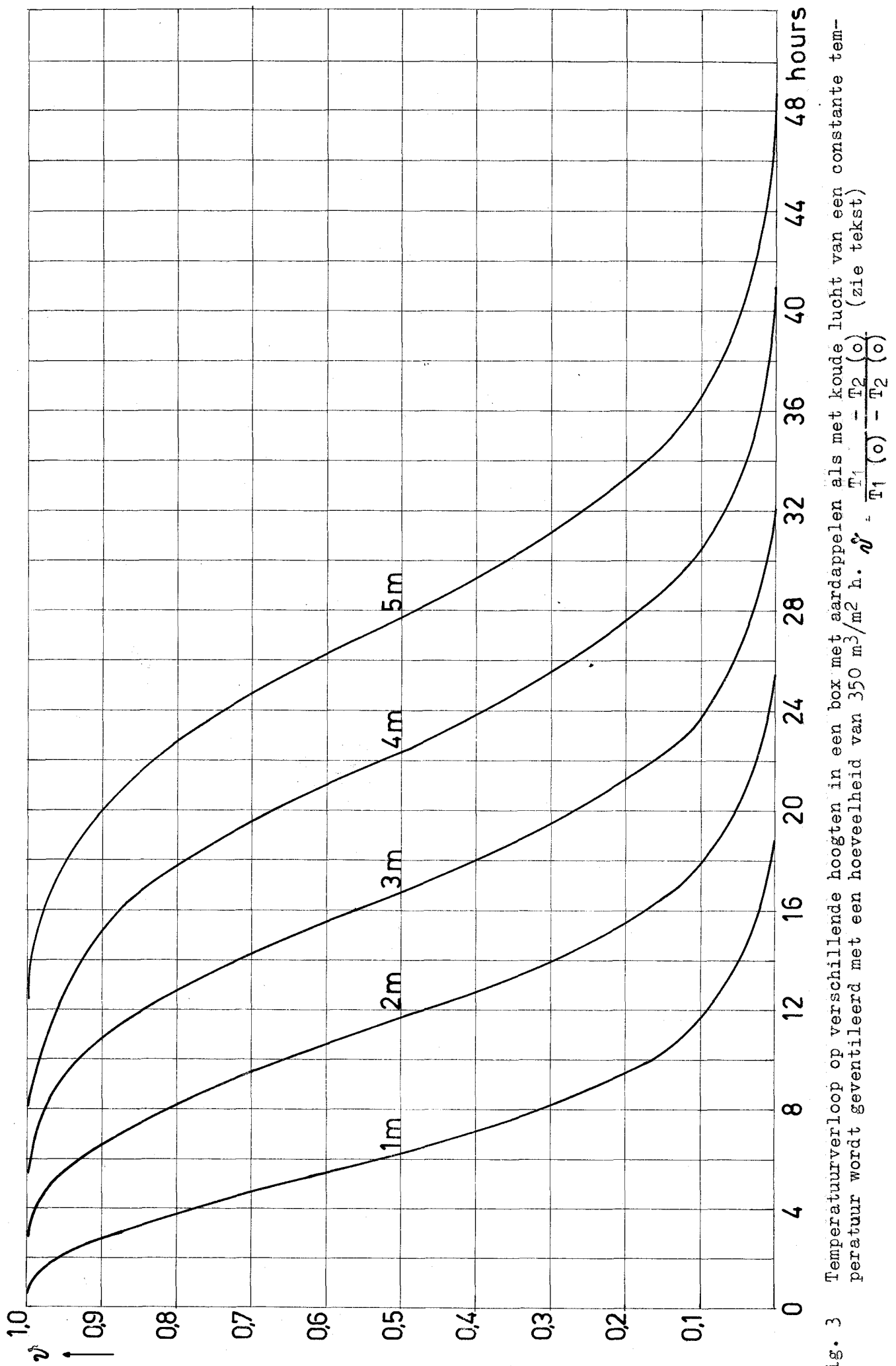


Fig. 3 Temperatuurverloop op verschillende hoogten in een box met aardappelen als met koude lucht van een constante temperatuur wordt geventileerd met een hoeveelheid van $350 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$. $\vartheta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_2}$ (zie tekst)

Uit deze grafiek kunnen we het afkoelingsverloop op verschillende hoogten in de aardappelhoop aflezen. Bij $\vartheta' = 0,5$ is het produkt dus zover afgekoeld, dat het temperatuurverschil, dat aanvankelijk tussen het produkt en de ingeblazen lucht bestond, tot de helft is gereduceerd. De hierbij behorende tijd, wordt de halfwaardetijd genoemd. Bij $\vartheta' = 0,1$ spreekt men van de 1/10-waarde-tijd. Een voorbeeld moge één en ander verduidelijken: Wanneer de aardappelen vóór het begin van de ventilatie over de gehele hoop een temperatuur van b.v. 8°C hadden en de temperatuur van de buitenlucht blijft tijdens de ventilatie constant op b.v. 2°C dan betekent $\vartheta' = 0,5$, dat de aardappelen $0,5 (8-2) = 3^{\circ}\text{C}$ in temperatuur zijn gedaald, dus zijn afgekoeld tot op 5°C . In de grafiek lezen we af, dat bij $350 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ het punt $\vartheta' = 0,5$ op 1 m hoogte na $6\frac{1}{2}$ uur ventileren wordt bereikt. Op 3 m hoogte is de halfwaarde-tijd echter bijna 17 uur. De 1/10-waarde-tijd (in het voorbeeld dus afkoeling tot op $2,6^{\circ}\text{C}$) wordt bij 1 en 3 m pas bereikt na resp. bijna 12 en 24 uur. Dit voorbeeld demonstreert duidelijk, dat zelfs bij een ventilatiecapaciteit van $350 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, - bijna nergens in het buitenland wordt deze zo hoog aangehouden -, verscheidene uren moet worden geventileerd om ook bovenin de hoop een behoorlijke afkoeling te verkrijgen.

Door vergroting van de ventilatiecapaciteit wordt de afkoelings-tijd verminderd. Door ons werd berekend (4), dat bij $\vartheta' = 0,1$ het verband tussen afkoelingstijd en ventilatiecapaciteit kan worden weergegeven door de formule: $t = \frac{40250}{5400 \times \vartheta'} + 2130 \frac{x}{v}$. In fig. 4 is dit grafisch weergegeven. Men kan hieruit aflezen, dat bij $350 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ de 1/10-waarde-tijd op 3 m hoogte in de hoop 24 uur bedraagt. Door verdubbeling van de ventilatiecapaciteit wordt volgens grafiek de 1/10 waarde-tijd op deze hoogte tot $14\frac{1}{2}$ uur teruggebracht.

Men kan de vraag stellen of door regelmatige omkering van de stroomrichting van de lucht geen gelijkmatiger en snellere afkoeling van de aardappelhoop kan worden bereikt. Het tegendeel is echter het geval. Immers zodra men, na enige tijd van onder naar boven te hebben geventileerd, de luchtstroom omkeert, zal de lucht met de bovenin opgenomen warmte de aardappelen in de onderste lagen weer opwarmen. Regelmatig omkeren van de luchtstroom komt dus neer op het verplaatsen van warmte in de hoop van boven naar beneden en omgekeerd. De afkoelingsperiode wordt daardoor aanzienlijk verlengd. Wel is ons bij grote stort-hoogte gebleken, dat bij ventilatie van boven naar beneden gemiddeld over het gehele bewaarstizoen de temperatuur in de hoop gelijkmatiger is verdeeld, dan wanneer de lucht van onder naar boven door het produkt wordt geblazen, zoals algemeen gebruikelijk is. De verklaring voor dit verschil is, dat in het eerste geval in perioden waarin niet kan worden

geventileerd de natuurlijke convectorie in de hoop (koude lucht zakt naar beneden) een zekere nivellering van de temperatuur tot stand brengt.

5. De invloed van de ventilatie op de uitdroging.

Aansluitend aan hetgeen in paragraaf 4 reeds is gezegd, kunnen we ons het proces van de verdamping van water uit de knollen voorstellen als diffusie van waterdamp door een membraan. Hiervoor geldt de formule:

$$Q = k F (p_1 - p_2) t$$

waarin betekent:

Q = hoeveelheid waterdamp die zich van de ene zijde naar de andere zijde van het membraan verplaatst (kg),

F = oppervlak van het membraan (m^2),

p_1 en p_2 = resp. de waterdampspanning aan elk der beide zijden van het membraan (mm Hg of kg/m^2 of kg/cm^2 of kg/cm^2)

t = tijd (uren)

k = evenredigheidsfactor, afhankelijk van het waterdampdoorlatend vermogen van het membraan. Men noemt k het waterdampdoorgangsgetal, uitgedrukt in kg/m^2h per eenheid van dampdrukverschil.

Bij aardappelknollen is de schil als het membraan te beschouwen, waarvoor F de oppervlakte aanduidt en k de doorlaatbaarheid voor waterdamp. p_1 is de waterdampspanning in de knol. Men mag aannemen, dat deze overeenkomt met de verzadigingsdampspanning van water van dezelfde temperatuur als de aardappelknol. p_2 is de dampspanning van de lucht, die de knol omgeeft en is dus afhankelijk van de temperatuur en de relatieve vochtigheid van die lucht.

Wanneer aardappelen met koude lucht in aanraking komen is p_2 altijd lager dan p_1 . Zelfs bij het ventileren met koude buitenlucht, die een relatieve vochtigheid bezit van 100 %, zal er verdamping optreden. Bij het passeren van de warmere aardappelhoop stijgt namelijk de temperatuur van de lucht, waardoor ook haar verzadigingsdampspanning toeneemt. Bij het koelen van aardappelen met koude lucht is verdamping dan ook onder alle omstandigheden onvermijdelijk. Het maakt daarbij geen verschil of voor de koeling koude buitenlucht wordt gebruikt of dat de lucht in de bewaarruimte kunstmatig wordt gekoeld. In het eerste geval wordt het afgestane vocht met de doorstromende lucht mee naar buiten afgevoerd, in het tweede geval wordt het bij de koeler uit de lucht afgescheiden.

Naarmate er tussen de aardappelen en de koude lucht een groter temperatuurverschil bestaat en deze lucht met een lagere R.V. wordt

ingeblazen, is $p_1 - p_2$ groter en dus de verdamping sterker. Uit de formule blijkt, dat de verdampte hoeveelheid afhangt van de tijdsduur waarover het dampdrukverschil heerst. Het totaal aantal ventilatie-uren speelt dus een belangrijke rol bij de uitdroging.

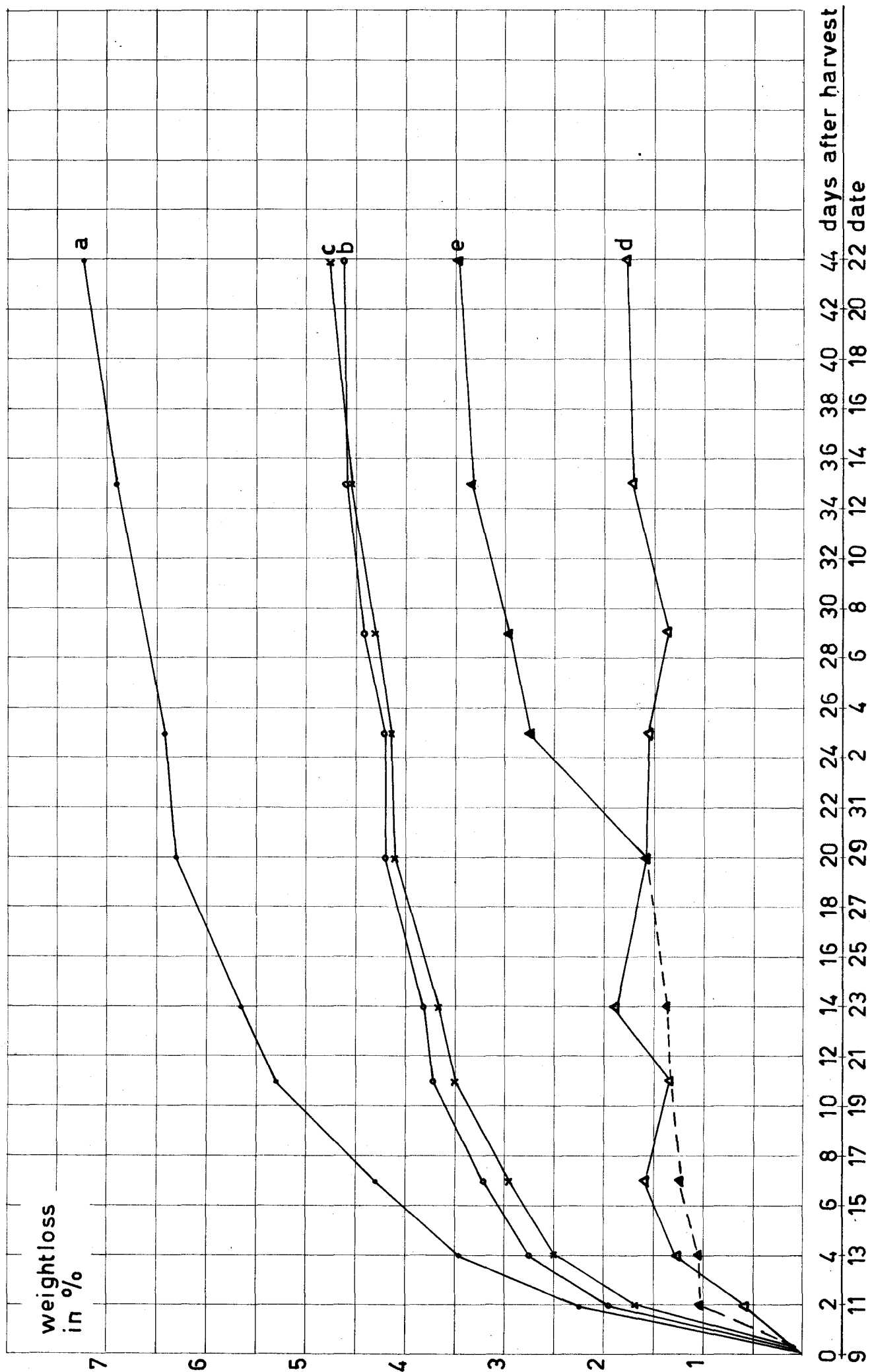
Door sommigen werd aangenomen, dat vergroting van de ventilatiecapaciteit de uitdroging zou doen toenemen. Bij de proeven op praktijk-schaal in voorafgaande jaren hebben wij hiervoor geen enkele betrouwbare aanwijzing verkregen. Ter verdere bestudering van dit vraagstuk is in het afgelopen jaar een proef uitgevoerd, waarbij monsters van 100 kg aardappelen in containers werden bewaard, die op elk gewenst tijdstip konden worden gewogen. De proef werd uitgevoerd met groengerooide aardappelen (Bintje), die onmiddellijk na het rooien in de containers werden gedaan. De containers werden op een gemeenschappelijk luchtkanaal aangesloten, zodat de perioden en de tijdsduur van ventilatie gelijk waren. Behalve bij container e, die de eerste 20 dagen niet werd geventileerd, werd onmiddellijk na het rooien met het doorblazen van koude buitenlucht begonnen. Bij container d werd de ingeblazen lucht met stoom verzadigd. De ventilatiecapaciteit was voor container b $600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, voor de overigen $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Bij container a werden de aardappelen bij het vullen opzettelijk ernstig ontveld. In fig. 5 is het verloop van het gewichtsverlies gedurende de eerste 6 weken in beeld gebracht. Bij alle objecten is het gewichtsverlies in de eerste dagen, wanneer de verkurking van de schil nog niet is voltooid, veel groter dan later. Wanneer de eerste weken niet wordt geventileerd (container e), is ook het gewichtsverlies belangrijk lager, hoewel een behoorlijke stijging is te zien, zodra met de ventilatie wordt begonnen. De luchtvochtigheid heeft een grote invloed, wat blijkt, als men d met b.v. b of c vergelijkt. Bij de ontvelde knollen is het gewichtsverlies zeer groot (zie a). Opvallend is echter (vergelijk b en c), dat de ventilatiecapaciteit nauwelijks enige invloed heeft.

In tabel 3 is voor 3 perioden van het bewaarseason het gemiddelde gewichtsverlies van de containers per etmaal berekend:

Tabel 3.

Periode na de oogst	Gemiddeld gewichtsverlies ^{x)} per etmaal van groengerooide aardappelen in %.				
	a ontveld $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$	b $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$	c $600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$	d met luchtbe- vochtiging $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$	e aanv. vent. na 20 dg. $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
1-10 dagen	0,53	0,35	0,37	0,14	0,14
10-20 dagen	0,11	0,07	0,06	0,00	0,14
20 dagen - 5 maanden	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03

x) Het gewichtsverlies heeft uitsluitend betrekking op ademhaling en verdamping. Kieming was na 5 maanden nog niet opgetreden.



Ook uit deze cijfers moet worden geconcludeerd, dat vergroting van de ventilatiecapaciteit niet met een sterke uitdroging gepaard gaat. Dit is ook wel begrijpelijk wanneer men bedenkt, dat de doorlaatbaarheid van de schil bij een grote of kleine ventilatiecapaciteit hetzelfde blijft en dat de hoeveelheid vocht, die door de schil diffundeert de dampspanning van het relatief grote quantum lucht dat wordt doorgeblazen, weinig zal beïnvloeden.

Voor het gewichtsverlies door ademhaling en verdamping gezamenlijk werden door ons de volgende praktijkcijfers bij luchtgekoelde bewaring gevonden (6):

Voor groengeroode aardappelen: 4 - 6 % in de eerste maand na de oogst, $\frac{1}{2}$ tot maximaal $\frac{2}{3}$ % per maand in de daaropvolgende periode;

Voor rijpgeroode aardappelen, waarbij de verkurking van de schil reeds in de grond heeft plaats gehad: 1 - 3 % in de eerste maand na de oogst, daarna $\frac{1}{2}$ tot $\frac{2}{3}$ % per maand.

De genoemde cijfers hebben betrekking op ongekiemde aardappelen. Bij de op blz. 15 besproken proef in containers werd na 5 maanden container b enige tijd in een ruimte bij hogere temperatuur geplaatst om de aardappelen te laten kiemen. Toen de knollen kiemen hadden van 1 à 2 cm werd de container weer geventileerd. Het gewichtsverlies bedroeg toen gemiddeld 0,06 % per etmaal. Dit is dus 1,8 % per maand.

6. Samenvatting.

De ventilatiecapaciteit, nodig voor de koeling van aardappelen, hangt af van het klimaat en kan het beste door praktijk-proeven worden bepaald. De samenhang tussen ventilatiecapaciteit en het temperatuurverloop in de aardappelhoop kan voor een gegeven temperatuurverschil nauwkeurig worden berekend.

Door vergroting van het per uur doorgeblazen luchtkwantum neemt de verdamping niet of nauwelijks toe. Bij een grote ventilatiecapaciteit is de uitdroging dan ook niet sterker dan bij een kleine ventilatiecapaciteit, temeer niet daar in het eerste geval het totaal aantal draaiuren over het gehele seizoen gerekend, afneemt.

De aanbevolen ventilatiecapaciteit voor aardappelbewaarplaatsen in Nederland is 100 m^3 lucht per uur per m^3 aardappelen. Bij 3,5 m storthoogte moet de ventilator genoemd quantum kunnen leveren tegen een statische druk van 15 mm W.K. Onder Nederlandse klimatologische omstandigheden kan met deze ventilatiecapaciteit een bewaartemperatuur worden bereikt die met de gemiddelde minimum decade temperatuur over-

eenkomt. Tot in april zijn deze temperaturen gemiddeld laag genoeg om spruiting te voorkomen.

Het gewichtsverlies door ademhaling en verdamping gezamenlijk bedraagt bij bewaring in geventileerde bewaarplaatsen voor groengerooide aardappelen 3 - 5 % in de eerste maand na de oogst, $\frac{1}{2}$ tot maximaal $\frac{2}{3}$ % per maand in de hieropvolgende periode. Bij rijpgerooide aardappelen is het verlies in de eerste maand lager (1 - 3 %), in de volgende maanden eveneens $\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$ % per maand.

Literatuur

- 1) Ophuis, B.G. : Isolatie en luchttechnische inrichting van aardappelbewaarplaatsen. Landbouwk. Tijdschr. 63, (1951) 509 - 522.
- 2) ————— : Moderne luchtgekoelde aardappelbewaarplaatsen. Landb. Mech. 7, (1956) 72-82.
- 3) ————— : Ontwikkelingen bij de inrichting van aardappelbewaarplaatsen en het gebruik ervan voor andere produkten. Landbouwk. Tijdschr. 69, (1957) 54 - 70.
- 4) Businger, J.A. : Luchtbehandeling van produkten in gestorte toestand. Verwarming en Ventilatie, 11 , (1954) 31 - 35.
- 5) Ophuis, B.G. en J.C. Heslen : De invloed van de ventilatiecapaciteit op het temperatuurverloop in een aardappelhoop. Publikatie van het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten (nog niet verschenen).
- 6) Jong, W.H. de : Bewaring van aardappelen in gebouwen. Landbouwk. Tijdschr. 61, (1949) 610 - 627.
- 7) Ophuis, B.G. en D. Hofstra : Gewichtsverliezen bij de bewaring van pootaardappelen in luchtgekoelde bewaarplaatsen. Meded. N.A.K. 13, (1956) 48 - 50.